VERÖFFENTLICHUNGEN
DER
UNIVERSITÄTS-STERNWARTE ZU GÖTTINGEN
HERAUSGEGEBEN VON DEM DIREKTOR
H. KIENLE

Heft 7

Die scheinbare Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

ANTANAS JUŠKA
aus Gelažiai (Litauen)

Göttingen 1929

Aukštai Gerbiamajam Kun. Prof. St. Usoriui.
1929. IX. 21. Autorius.

VERÖFFENTLICHUNGEN
DER
UNIVERSITÄTS-STERNWARTE ZU GÖTTINGEN
HERAUSGEGEBEN VON DEM DIREKTOR
H. KIENLE

Heft 7

Die scheinbare Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

ANTANAS JUŠKA
aus Gelažiai (Litauen)

Göttingen 1929

Referent: Prof. H. Kienle.
Tag der mündlichen Prüfung:
1. August 1928.

Druck „Rytas" A.-G. in Memel

Die scheinbare Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe.

Problemstellung.

Dass die scheinbare Helligkeit der Sonnenoberfläche vom Zentrum zum Rande hin nach irgendeinem Gesetze abnimmt, ist eine längst bekannte Tatsache, die schon viele Male empirisch und theoretisch untersucht worden ist. Schon 1874 untersuchten PICKERING und STRANGE[1]) die Helligkeitsverteilung auf der Sonne, indem sie mit Hilfe eines Bunsenschen Photometers die Helligkeit verschiedener Stellen mit der des Sonnenzentrums verglichen. H. C. VOGEL[2]) dehnte diese Arbeiten auf einzelne Spektralgebiete aus, indem er mit einem Spektralphotometer die Helligkeit einer bestimmten Stelle der Sonnenscheibe mit der Gesamthelligkeit der Sonne verglich. Die umfangreichsten Messungsreihen verdankt man ABBOT und FOWLE[3]), die im Rahmen der Arbeiten des „Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution Washington" fortlaufende Registrierungen der Helligkeitsverteilung mit dem Spektralbolometer ausführten. Eine wertvolle Untersuchung im Ultraviolett haben SCHWARZSCHILD[4]) und VILLIGER durchgeführt, indem sie die Sonne durch ein versilbertes Ultraviolett-Objektiv photographierten. Neuerdings, nach Abschluss meiner eigenen Arbeit, sind Beobachtungen von MOLL[5]) und BURGER bekannt geworden, auf die wir noch zurückkommen werden.

---

[1]) *Proc. of the Americ. Acad. of Arts and Sciences,* New Series 2, 428.

[2]) Siehe E. PRINGSHEIM: *Vorlesungen über die Physik der Sonne.* S. 392 ff. oder G. MUELLER: Photomterie der Gestirne.

[3]) C. G. ABBOT a. F. F. FOWLE, *Annals of the Astrophys, Observ. of the Smithsonian Inst.* I bis IV, 1908 u. f.

[4]) Astrophysical Journal 23, 284—305.

[5]) Bulletin of the Astroph. Institution of the Netherlands I, 1925.

Die Aufgabe, die wir uns stellten, lässt sich dahin formulieren:

1. Es sollte mit einer möglichst einfachen Apparatur die Helligkeitsverteilung einwandfrei registriert werden.
2. Die Messungen sollten mit Sicherheit bis mindestens 1 % an den Sonnenrand heranführen.

Die Begründung dieser Formulierung ergibt sich aus der Notwendigkeit, einerseits die Sonne dauernd an mehreren Observatorien zu überwachen, um über die immer noch nicht ganz geklärte Frage der Veränderlichkeit der Sonnenstrahlung Aufschluss zu erlangen, andererseits die für die Theorie des Aufbaus der Sonnenatmosphäre vor allem wichtigen äussersten Randzonen sorgfältiger su studieren als dies in allen bisherigen Arbeiten geschehen ist, die im allgemeinen die äusseren 5 % des Radius recht unbestimmt lassen.

Als Messprinzip wurde der Photostrom gewählt, dessen Proportionalität zur auffallenden Intensität in so weitem Umfange sichergestellt ist. Es war zunächst die Methode an der Messung im unzerlegten Lichte auszuprobieren. Die Ausdehnung auf Messungen in einzelnen Spektralgebieten war vorgesehen, konnte aber aus äusseren Gründen nicht über einige in dieser Richtung unternommenen Vorversuche hinausgeführt werden.

1. Die optische Abbildung der Sonne.

Für die Beobachtungen konnte eine vorhandene Heliostatenanlage durch Umänderungen verwendbar gemacht werden.

Der Coelestat stand auf einem Pfeiler im Süden vor dem Beobachtungshaus. Ein der Erdachse paralleler Spiegel, der durch ein Uhrwerk der täglichen Bewegung nachgeführt werden konnte, warf das Licht auf einen Hilfsspiegel, dessen Mitte mit der des beweglichen Spiegels in einer Horizontalebene lag und der an einem Arm jeweils in das richtige Azimut gedreht werden konnte. Das von diesen Spiegeln reflektierte parallele Strahlenbündel wurde auf einen Hohlspiegel durch eine Fensteröffnung in den Beobachtungsraum hineingeworfen. Die Coelestatenspiegel hatten je 10 cm und der Hohlspiegel 12 cm Durchmesser, die Brennweite des letzteren war 6 Meter. Der Hohlspiegel stand auf einer festen Bank und besass drei Feinbewegungen, die mit Hilfe von langen Handgriffen vom Platze des Beobachters aus zu bewegen waren. Die Feinbewegungen erlaubten die Höhe und das Azimut des vom Spiegel erzeugten Sonnenbildes zu ver-

stellen und ausserdem das Sonnenbild gut zu fokussieren. Die Fokussierung selbst erfolgte in üblicher Weise, mit Hilfe der auf der Sonne immer vorhandenen Flecken. Da die optische Abbildung durch Spiegel erfolgte, d. h. frei von chromatischer Aberration, konnte die Fokussierung visuell bequem vorgenommen und vor jeder Messung kontrolliert werden.

Das Sonnenbild hatte einen Durchmesser von 55.2 mm. Wollte man also bis auf 1 % des Radius an den Sonnenrand herankommen, so musste man noch näher als 0,3 mm vom Sonnenrande gute Messungen erhalten. Das Diaphragma, durch welches das Licht des Sonnenbildes auf die Photozelle fiel, musste also möglichst noch kleiner als 0,3 mm im Durchmesser sein. Die gesamte Messanordnung war in der Tat so empfindlich, dass als kleinstes Diaphragma ein solches von etwa 0,1 mm verwendet werden konnte.

Die Entscheidung, ob der Messapparat an einem ruhenden Sonnenbild oder das Sonnenbild an dem ruhenden Messapparat vorübergeführt werden sollte, war gegeben durch Ueberlegungen hinsichtlich der Fehlerquellen beider Methoden. Bekanntlich macht die exakte Nachführung mit einem Coelostaten bei so grosser Brennweite ganz erhebliche Schwierigkeiten und stellt grosse Anforderungen an die gesamte Konstruktion. Erhebt man ausserdem die Forderung, dass die optische Abbildung des jeweils zu messenden Punktes der Sonnenscheibe für alle Punkte eines registrierten Durchmessers auf demselben Weg erfolgen soll (Identität der Abbildungsfehler, gleicher Einfluss ungleichförmiger Versilberung der Spiegel), dann kann nur die eine Lösung in Betracht kommen: die gesamte Apparatur steht fest, das Sonnenbild wandert mit der Geschwindigkeit der täglichen Bewegung vor dem Diaphragma vorbei.

Zur Orientierung auf dem Sonnenbilde wurde die das Diaphragma tragende Scheibe mit einem Koordinatennetz versehen. Zwei Parallele markierten den Weg des Sonnenbildes, wenn ein Durchmesser registriert werden sollte. Eine Verstellung des Hohlspiegels in der Höhe gestattete eine beliebige andere der Richtung der täglichen Bewegung parallele Sehne aus dem Sonnenbilde herauszuschneiden. Mit der Absicht, den Rand besser ausmessen zu können, wurden mehrere Male 10 und 5 mm vom Rande entfernte Sehnen eingestellt. Ausserdem noch solche, auf denen sich Sonnenflecken befanden.

2. Die Messinstrumente.

Das zu messende Licht wurde hinter dem Diaphragma direkt durch das Fenster einer Photozelle geworfen. Zur Verfügung stand eine Kalium-Zelle mit Argonfüllung, deren Empfindlichkeitsbereich etwa zwischen 350 bis 550 mμ lag. Das Maximum der Empfindlichkeit liegt in der Gegend von 440 mμ[1]).

Die Photozelle wurde in einen lichtdichten doppelten Blechkasten eingebaut und der Kasten auf einen Schlitten gesetzt, sodass eine mühelose Justierung in beiden horizontalen Koordinaten möglich war. Die Drähte wurden durch Bernsteinisolierungen so eingeführt, dass kein falsches Licht auf die Zelle fallen konnte. Die vordere Wand des inneren Kastens hatte vor dem Zellenfenster eine Oeffnung von 7 mm Durchmesser. Die Vorderwand des äusseren Kastens dagegen wurde von einer dicken Messingplatte gebildet, in welcher drehbar eine Scheibe angebracht war mit Diaphragmen verschiedener Oeffnung. Der Oeffnung in der inneren Kastenwand gegenüber befand sich in der Vorderwand ein Loch von 1 mm Durchmesser, das durch die Diaphragmen auf der beweglichen Scheibe abgeblendet werden konnte. Diese Diaphragmen hatten Durchmesser von 0,1 bis 0,6 mm. Mit einer Druckfeder konnte man leicht ein beliebiges passendes Loch einstellen. Bei den Messungen wurde gewöhnlich ein Loch von ungefähr 0,2 mm Durchmesser benutzt.

Zur Trockenhaltung der Zelle wurden in den inneren Kasten und zwischen die Wände der beiden Kästen Natriumgefässe gesetzt. Endlich war der ganze Kasten noch auf einer massiven Metallpatte befestigt und befand sich während der Messung auf derselben Bank wie der Hohlspiegel, wodurch eine unveränderliche gegenseitige Lage gewährleistet wurde.

Alle Zuführungen bestanden aus blanken in der Luft schwebenden Drähten, die durch Bernsteinisolationen in den Kasten eingeführt wurden.

Zur besseren Einsicht in den Bau sei hier noch die nebenstehende Figur wiedergegeben.

---

[1]) Die genaue Empfindlichkeitskurve dieser individuellen Photozelle konnte leider nicht untersucht werden, da damals noch keine entsprechende Apparatur in der Sternwarte vorhanden war, und für die orientierenden Messungen die obigen Angaben genügten.

Der Photostrom wurde mit einem Einfadenelektrometer gemessen. Bekanntlich sind die Ausschläge des Fadens bis zu gewissen Grenzen, die bestimmt werden mussten, proportional der Aufladung. Diese Grenze hängt ab von der Spannung, die an den Schneiden gelegt wird, von deren gegenseitigen Entfernung und von der Spannung des Fadens.

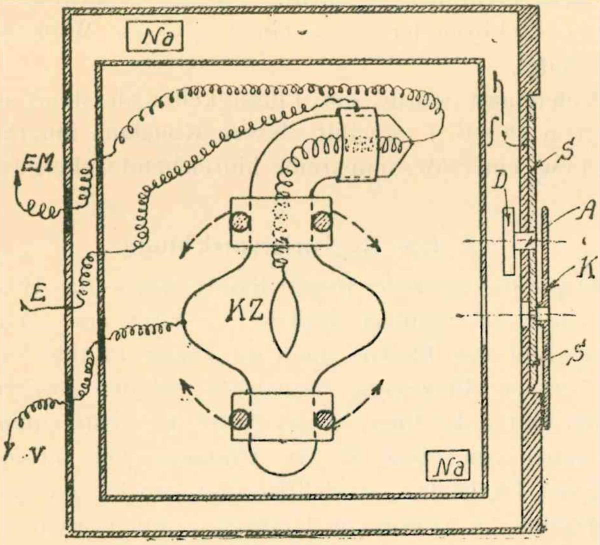


Abb. 1

KZ ist die Kaliumzelle. *EM*, *E* und — *V* sind Zuleitungen zum Elektrometer, zur Erde und zum negativen Pol einer Akkumulatorenbatterie. *Na* sind zwei kleine mit Natrium gefüllte Gefässe. Weiter ist *A* die Achse der beweglichen Diaphragmenscheibe *S*. *D* ist eine Vorrichtung zum Drehen der Scheibe und *F* eine Druckfeder. Endlich ist auf der Scheibe *K* das Koordinatennetz angeklebt.

Das Elektrometer hatte feststehende Schneiden; die angelegte Spannung betrug $\pm$ 50 Volt; die Empfindlichkeit wurde nur durch Lockerung oder Straffung des Fadens variiert. Sie war durchschnittlich 10 Skalenteile pro 1 Volt.

Die sonst so bequeme „Auflade"-Methode eignete sich für unsere Zwecke nicht. Wir wollten ja kontinuierlich registrieren und es sollten dabei die zu messenden Sonnenstrahlen immer denselben Weg machen, d. h. wir durften den Lauf des Sonnen-

bildes während der Messung nicht aufhalten. Es wäre zwar möglich gewesen, den Faden sich aufladen zu lassen und ihn in gleichen Zeitabschnitten wieder zu erden, dabei die Geschwindigkeit des ausschlagenden Fadens photographisch registrierend. Aus solchen Tangentenkurvenstücken wäre es aber später sehr schwer gewesen, die Kurve der Helligkeitsverteilung abzuleiten. Darum wurde auch von dieser modifizierten Art der Auflademethode kein Gebrauch gemacht. Vielmehr wurde der Photostrom vom Elektrometer über einen grossen Widerstand zur Erde abgeleitet.

Als Widerstand wurde ein Flüssigkeitswiderstand nach den Angaben von POHL[1]) gewählt, dessen Konstanz innerhalb einer Messung bew. einer Messungsreihe hinreichend sichergestellt war.

3. Die Registriervorrichtung.

Für die photographische Registrierung wurde das Bild des Fadens mit Hilfe des Okulars projiziert. Durch eine Zylinderlinse wurde das Bild des Fadens dann zu einem Punkte zusammengezogen, dessen Bewegung registriert werden konnte. Dazu befand sich hinter der Linse in der Mitte des lichtdichten Kastens eine Trommel von etwa 31 cm Umfang. Die Trommel war senkrecht zur Drehachse verstellbar und wurde von einem Uhrwerk mit einer in mässigem Umfang regulierbaren Geschwindigkeit in Bewegung gesetzt. Die Energie des Uhrwerks reichte etwa für zwei Umdrehungen der Trommel. Das Uhrwerk funktionierte am gleichmässigsten, wenn ihm zu einer Umdrehung der Trommel etwa 2 Minuten, also die Zeit, die zu einer Messung nötig war, zur Verfügung standen.

Bei den ersten Versuchen wurde der Schatten des Elektrometerfadens auf Bromsilberpapier registriert. Die gewöhnlichen Papiere waren aber nicht empfindlich genug, insbesondere für die rasche Bewegung des Fadens am Rande der Sonne. Ausserdem ging viel Zeit verloren beim Auswechseln des Papiers, denn bei dieser Art Registrierung kann auf jedem Blatt nur eine einzige Kurve aufgenommen werden. Es wurde daher schliesslich das Elektrometer etwas umgebaut, um mit hellem Faden registrieren zu können. Der Faden wurde durch ein in das Elektrometer eingebautes Reflexions-Prisma beleuchtet. Für die Faden-

[1]) R. POHL: *Lichtelektrische Erscheinungen, 1912.*

beleuchtung wurde Sonnenlicht verwendet, das durch einen kleinen Coelostaten auf einen Kondensor geworfen wurde, der es dann durch ein entsprechendes Fensterchen auf das kleine Prisma und den Faden leitete. Dadurch wurde es auch möglich, mehrere Registrierungen auf einem Film aufzunehmen.

Die ganze Apparatur ist in der Abb. 2 nochmals angedeutet.

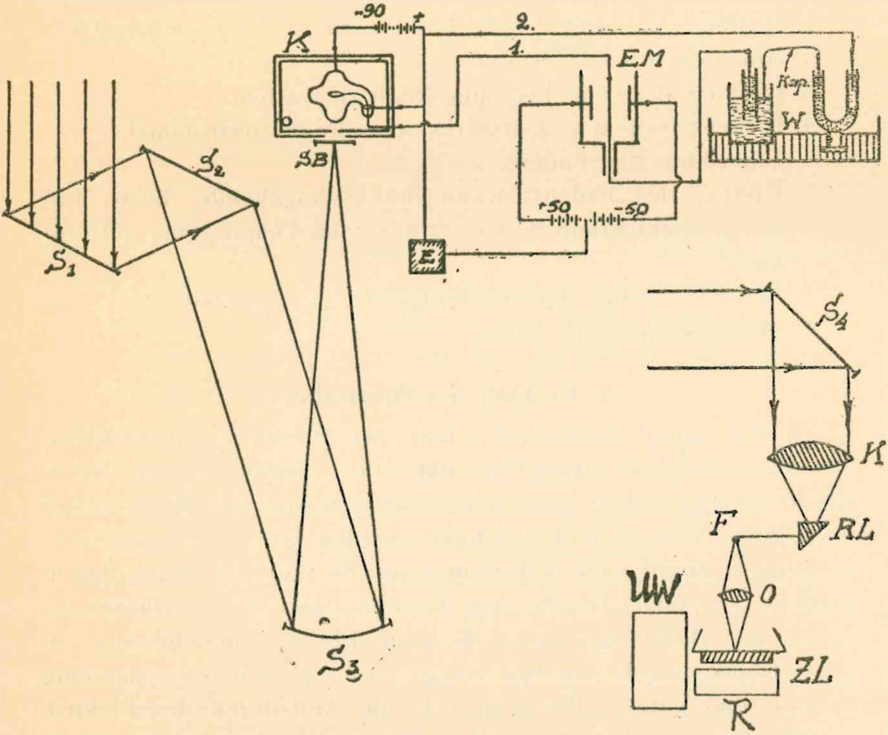


Abb. 2

S_1 und S_2 sind Coelostaten-Spiegel, S_3 der Hohlspiegel. Bei *SB* entsteht das Sonnenbild. *K* ist der Kasten mit der Photozelle, Draht *1* führt zum Eelektrometer *EM* und weiter in den Wiederstand *W*. *Kap.* ist die Kapillare. Vom zweiten Gefässe des Wiederstandes führt der Draht *2* zur Erde *E*.

Unten ist das Schema der Registriervorrichtung. Der Coelostat S_4 beleuchtet über einen Kondensor *K* und das Reflexionsprisma *RL* den Faden des Elektrometers, der durch das Projektionsokular *O* und die Zylinderlinse *ZL* auf die Registriertrommel *R* abgebildet wird. *UW* ist das Uhrwerk, das die Trommel *R* drehte.

Zur besseren Orientierung auf der Registrierkurve und zur Kontrolle wurde der Elektrometerfaden an bestimmten Punkten des registrierten Durchmessers auf einen kurzen Moment geerdet. Das geschah im allgemeinen stets dann, wenn der vorangehende bzw. folgende Sonnenrand bestimmte Entfernungen vom Diaphragma erreichte.

Die Beobachtungen selbst wurden gewöhnlich in der folgenden Weise durchgeführt:

1. Prüfung der Lage und Fokussierung des Sonnenbildes.
2. Anhalten des Coelestaten.
3. Oeffnen des Schiebers am Registrierkasten.
4. Laufenlassen des Uhrwerks der Registriertrommel.
5. Enterdung des Fadens.
6. Erdung des Fadens, wenn der vorangehende bezw. folgende Sonnenrand 5, 10, 20 mm vom Diaphragma entfernt war.
7. Schluss, wenn der nachfolgende Sonnenrand das Diaphragma passiert hatte.

4. Prüfung der Apparatur.

Es war nötig die Charakteristik der Photozelle aufzustellen, die Geradlinigkeit derselben und die Empfindlichkeit nebst Proportionalität der Ausschläge des Fadens im Elektrometer zu prüfen. Diese Untersuchungen wurden mit einer konstanten Lichtquelle in einer Dunkelkammer auf der optischen Bank durchgeführt. Die erste Tabelle gibt die Charakteristik der Photozelle, d. h. die Beziehung zwischen dem Photostrom und der an die Kathode angelegten Spannung. Unter p steht die Spannung in Volt und unter t die entsprechende Aufladezeit des Elektrometers für 10 Skalenteile. Bei der Spannung von 51 bezw.

Tabelle 1

p	t	p	t	p	t	p	t
30	7.6	51	12.0	72	3.1	84	2.8
33	6.6	54	9.4	75	2.5	85.5	2.2
36	5.8	57	8.2	76.5	2.0	87.0	1.6
39	4.8	60	6.9	78	5.3	90.0	0.8
42	4.1	63	5.7	79.5	4.7		
45	3.6	66	4.4	81	3.9		
48	3.1	69	3.7	82.5	3.3		

78 Volt wurde die Entfernung der Lampe von der Zelle verdoppelt bezw. verdreifacht. Als beste gerade noch anwendbare Spannung wurde 90 Volt gewählt. Die Empfindlichkeit bei dieser Spannung war hinreichend gross für unsere Zwecke. Die nötige Spannung wurde einer Trockenbatterie entnommen.

Die Prüfung der Photozelle mit dem über den hohen Widerstand geerdeten Elektrometer auf Proportionalität wurde mit Sonnenlicht unter Benutzung von Gittern und Keilen ausgeführt. Die Proportionalität der Anordnung Zelle plus Elektrometer blieb bestehen, sobald die Spannung des Elektrometerfadens innerhalb gewisser noch zu bestimmender Grenzen blieb. Als obere Grenze für die Ausschläge ergab sich 15 Skalenteile. Von ungefähr dem 15-ten Skalenteile ab hörte die Proportionalität langsam auf. Da bei der Projektion auf der Filmtrommel einem Skalenteil etwa 3,5 mm entsprachen, so durften die Amplituden der Registrierkurven 52 mm kaum übersteigen. Daraus ergab sich die anzuwendende Empfindlichkeit. Gelegentliche kleine Ueberschreitungen der oberen Grenze konnten durch Berücksichtigung der kleinen Abweichung von der Proportionalität korrigiert werden.

5. Die Registrierkurven.

Die instrumentellen Vorarbeiten wurden im Winter und Frühling 1924—1925 erledigt; die Messungen selbst konnten also in der besten Zeit, d. h. beim höchsten Sonnenstand erfolgen, wo die störenden Einflüsse der Extinktion am geringsten sind.

In der oben beschriebenen Weise wurden in der zweiten Hälfte des Monats Juli 1925 im ganzen fünfzig Registrierkurven im nicht zerlegten Lichte erhalten. Aeussere Umstände veranlassten eine Unterbrechung der Arbeit, so dass die endgültigen Reduktionen erst 1927 vorgenommen werden konnten. Es war ursprünglich beabsichtigt, die Beobachtungen an einem anderen Ort weiterzuführen, was sich aber als unmöglich erwies. Ein Wiederaufbau der abgebrochenen Apparatur in Göttingen liess sich leider auch nicht mehr durchführen, so dass gewisse Unvollständigkeiten der im Folgenden mitzuteilenden Messungen nicht durch Hinzufügung neuer Beobachtungen beseitigt werden konnten.

Die meisten Kurven beziehen sich auf den Durchmesser der Sonnenscheibe. Anfangs wurden mehrfach auch andere Sehnen

durchregistriert, später aber wurden die Messungen auf den Durchmesser beschränkt. Nur die randnahen Sehnen wurden noch einigemale durchregistriert, um die Durchmesserregistrierungen zu prüfen.

Aus mehreren Gründen mussten einzelne Registrierungen ausgeschieden werden.

Aus der Gesamtzahl von fünfzig Kurven sind 12 durch Wolken und Schleier beeinträchtigt worden, 4 Kurven hatten zu grosse Amplitude und 6 waren unscharf registriert. Eine ganze Messungsreihe vom 22. Juli, bestehend aus 6 Kurven, wurde verworfen, weil sie zum Teil durch Cirrusstreifen, zum Teil vielleicht durch merkliches Braunwerden der Spiegel beeinträchtigt wurde. So blieben schliesslich 22 Durchmesserregistrierungen und je eine 5 bezw. 10 mm vom Rande entfernte Sehnenregistrierung übrig.

Ein Beispiel der Registrierkurven gibt die Abb. 3 wieder.

Das Draphragma hatte bei allen diesen Registrierungen einen Durchmesser von 0,2 mm.

6. Die Auswertung der Registrierkurven.

Die Erdungen während der Registrierung gaben nicht nur Anhaltspunkte für entsprechende Punkte der Sonnenscheibe, sondern sie definierten zugleich die Abszissen der Kurven. Die Ordinaten wurden abgelesen durch Auflegen des Films auf Millimeterpapier. Dabei wurden Zehntel- bezw. Fünftelmillimeter geschätzt, so dass die einzelnen Ordinaten sicher auf 0,5 mm genau abgelesen sind.

Die schwierigste Aufgabe ist die Festlegung der Anfangs- und Endpunkte der Kurven. Der immerhin messbare Durchmesser des Loches, die Luftunruhe und die Zerstreuung des Sonnenlichtes bewirkten, dass der Anstieg der Kurve nicht sehr gut definiert war. Ausserdem erwiesen sich die einzelnen Erdungsmarken mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Dies erklärt sich daraus, dass der Beobachter nicht nahe genug am Sonnenbilde sitzen konnte und die Fehler der Festlegung der bestimmten Punkte auf der Sehne der Sonnenscheibe sich fünf- bis sechsmal auf der Registrierkurve vergrösserten. Daher wurden diese Erdungsmarken nur zur allgemeinen Orientierung über den Gang des Uhrwerkes während der Registrierung und zur Ableitung der mittleren Lage der zu messenden Kurvenpunkte verwendet.

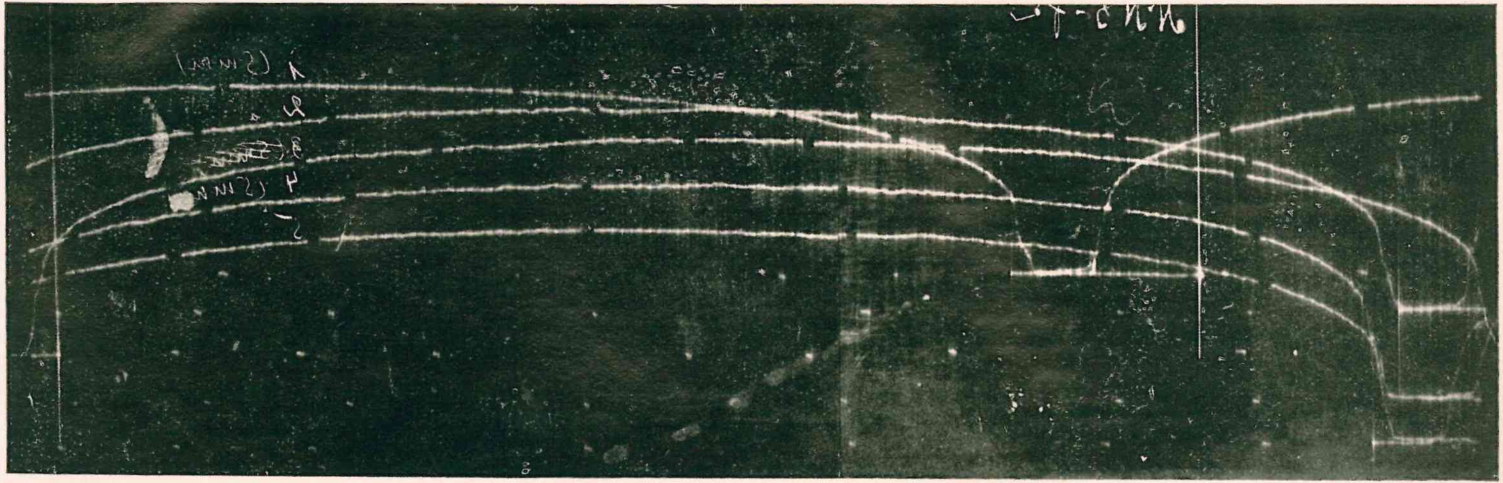


Abb. 3

Die Auswahl der Punkte war so getroffen, dass sie in der Nähe des Randes dichter als in der Mitte vorkamen. Da aber das Scheibenloch etwa 0,2 mm im Durchmesser gross war, konnte als erster Punkt nicht gleich der Randpunkt selbst genommen werden. Es wurden vielmehr auf dem Radius folgende Punkte gemessen: 0,3 mm, 0,6, 1,0, 1,5, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 13, 16, 20, 24 und 27,6 mm vom Sonnenrande. Die Lage der Abszissen auf der Registrierkurve selbst wurde für jede Kurve einzeln geprüft bezw. bestimmt.

Die linke und die rechte Kurvenhälfte wurde für sich gemessen. In einer guten Uebereinstimmung beider Ergebnisse lag die Garantie, dass das Elektrometer trägheitsfrei gearbeitet hatte und die Messpunkte richtig festgelegt waren. Mehrere Kurven sind zweimal ausgemessen worden, um ein Urteil zu gewinnen über die Sicherheit der Ausmessung.

Als Beispiel einer solchen Auswertung seien hier Ergebnisse einer Kurve angegeben, die aus Versehen zweimal gemessen worden ist, so dass die Messungen als vollständig unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen. Dieses Beispiel gibt daher eine ungefähre Genauigkeit der Messung selbst an.

Aus den Abständen der Erdungsmarken ergab sich, dass im Mittel 5 mm auf dem Sonnenbild 26,6 mm auf der Registrierkurve entsprechen. Damit ist der Vergrösserungsfaktor zu 5,3 gegeben.

Die nächstfolgende Tabelle 2 gibt nun die Ordinaten der gemessenen Punkte an. Es bedeutet: $100r/R$ die Entfernung vom Sonnenmittelpunkte in Prozenten des Radius, L und R die Ordinaten der linken bezw. rechten Hälfte der Registrierkurven, (d. h. vorangehende bezw. nachfolgende Hälfte der Sonne). Bei der zweiten Messung ist die Differenz gegen die erste Messung hinzugefügt worden. Weiter ist $M\,^0/_0$ das Mittel aus beiden Ordinaten, ausgedrückt in Prozenten der dem Mittelpunkte der Sonnenscheibe entsprechenden Ordinate, und ΔM die Differenz der beiden Messungen.

Wenn man von den ersten beiden Werten, für die die Genauigkeit der Ablesung schlecht ist, absieht — der mittlere Fehler beträgt in diesem Fall $\pm$ 1,5 mm —, so ergibt die Tabelle für die Ablesegenauigkeit den mittleren Fehler zu $\pm$ 0,23 mm, womit man zufrieden sein darf. Unter denselben Verhältnissen ist der mittlere Fehler für ΔM $\pm$ 0,65 %.

Tabelle 2

100 r/R	L	R	M%	L+Δ	R+Δ	M%	ΔM
98.9	8.1	(13.0)	25.6	9.6—1.5	(12)+1.0	26.1	—0.6
97.8	15.0	(17.0)	39.1	16.4—1.4	(19)—2.0	42.8	—3.7
96.4	20.0	21.0	50.1	20.4—0.4	20.6+0.4	49.5	+0.6
94.6	22.1	22.5	54.5	22.1±0.0	22.5±0.0	54.0	+0.5
92.8	23.9	24.0	58.5	23.7+0.2	24.4—0.4	58.2	+0.3
89.2	26.5	26.8	65.1	26.5±0.0	27.0—0.2	64.8	+0.3
85.5	28.6	28.4	69.4	28.4+0.2	29.0—0.6	69.4	0.0
81.9	30.0	30.4	73.8	30.1—0.1	30.4±0.0	73.3	+0.5
74.6	32.6	33.0	80.2	32.6±0.0	33.0±0.0	79.5	+0.7
63.8	35.4	35.5	86.7	35.3+0.1	35.6—0.1	85.7	+1.0
53	37.1	37.2	90.9	37.2—0.1	37.3—0.1	90.1	+0.8
42	38.4	38.8	94.5	38.4±0.0	39.0—0.2	93.6	+0.9
27.5	39.8	40.0	97.5	39 9—0.1	40.0±0.0	96.6	+0.9
18	40.7	40.7	99.4	40.8—0.1	40.8—0.1	98.8	+0.6
0	(40.9)		100	(41.4)—0.5		100	0

7. Ergebnisse im nicht zerlegten Lichte.

Für die endgültige Ableitung der Helligkeitsverteilungskurve sind noch zwei stark abweichende Durchmesserregistrierungen ausgeschieden worden. Die Tabelle 3 enthält daher nur die Ergebnisse von zwanzig Registrierkurven.

Jeweils am Kopf der Tabelle ist angegeben: Nummer der Registrierung, Datum, mitteleuropäische Zeit und rohe graphisch ermittelte Höhe des Sonnenzentrums zur Zeit der Registrierung. Die erste Spalte der Tabelle selbst bedeutet wiederum die Entfernungen der gemessenen Punkte vom Sonnenmittelpunkte in Prozenten des Radius (100 r/R.), die zweite und dritte gibt die Ordinaten der linken und rechten Kurvenhälfte für die ausgewählten Punkte des Sonnenradius in Millimetern, endlich die vierte das Mittel der Intensität, ausgedrückt in Prozenten der Intensität der Sonnenmitte.

Unsicher gemessene Werte sind in Klammern gesetzt.

Tabelle 3

100 r/R	Nr. 1: 18ᵈ12ʰ8ᵐ h = 59°21′			Nr. 2: 18ᵈ12ʰ12ᵐ h = 59°28′			Nr. 3: 18ᵈ12ʰ15ᵐ h = 59°32′			Nr. 4: 18ᵈ12ʰ45ᵐ h = 59°18′			Nr. 5: 21ᵈ11ʰ15ᵐ h = 55°30′		
	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M
98.9	9.6	(12)	26.1	(7)	11	21.1	10	11.6	24.7	11	13	25.1	12	12.0	22.0
97.8	16.4	(19)	42.8	(16.4)	18.0	40.4	19.6	18.0	43.0	21.6	21.2	44.4	20	20.0	36.5
96.4	20.4	20.6	49.5	20.5	21.3	49.0	22.8	22.3	51.5	25.4	25.3	52.9	27.4	25.6	48.5
94.6	22.1	22.5	54.0	23.0	24.0	55.2	24.8	24.2	53.8	27.6	27.6	57.8	30.2	28.8	53.0
92.8	23.7	24.4	58.2	24.6	25.6	58.9	26.6	26.2	60.5	29.8	29.5	62.0	32.4	31.2	58.2
89.2	26.5	27.0	64.8	27.1	28.5	65.4	29.3	29.0	60.7	32.6	32.6	68.2	36.0	34.8	64.8
85.5	28.4	29.0	69.4	29.0	30.6	69.9	31.4	31.2	71.6	35.1	34.8	73.1	38.6	37.4	69.5
81.9	30.1	30.4	73.3	30.8	32.0	43.6	33.0	33.6	76.3	36.6	36.2	76.1	41.0	39.8	74.0
74.6	32.6	33.0	79.5	33.0	34.6	79.4	35.6	35.4	81.7	39.1	38.6	81.3	44.3	43.5	80.3
63.8	35.3	35.6	85.7	36.2	37.2	86.1	38.5	38.2	87.7	42.0	41.2	86.9	48.0	47.4	87.3
53	37.2	37.3	90.1	38.4	39.2	91.0	40.2	40.3	92.1	44.0	43.2	91.0	50.1	49.5	91.1
42	48.4	39.0	93.6	40.0	40.4	94.4	41.8	41.8	95.7	45.5	46.4	96.0	52.2	51.7	95.1
27.5	39.9	40.0	96.6	41.0	41.4	96.2	42.5	43.6	97.3	47.2	37.3	98.7	53.7	53.8	98.1
13	40.8	40.8	98.8	41.8	42.4	98.9	43.1	43.3	99.1	47.6	47.5	99.2	54.3	54.2	99.5
0	414		100	42.6		100	43.6		100	47.9		100	54.7		100

100 r/R	Nr. 6: 21ᵈ11ʰ20ᵐ h = 56°30′			Nr. 7: 21ᵈ11ʰ30ᵐ h = 56°35′			Nr. 8: 21ᵈ11ʰ35ᵐ h = 56°50′			Nr. 9: 21ᵈ12ʰ15ᵐ h = 58°50′			Nr. 10: 21ᵈ12ʰ19ᵐ h = 58°57′		
	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M
98.9	(8.5)	12 0	21.6	15	15	27.2	16.0	14.0	28.2	9.0	8.0	19.9	8.5	8.0	19.0
97.8	21 0	23.4	40.1	23.5	24	43.1	25.0	22.6	44 4	17.2	17.0	39.7	16.0	16.0	37.0
96.4	27.2	28.0	50.0	28.5	27.5	50.7	29.0	27.0	52.6	21.3	21.4	49.8	21.4	20.6	48.5
92.6	30.8	30 8	55.8	31.6	31 0	56.7	31.6	30.0	57.7	23.9	24.6	56.6	23.8	27.0	55.2
92.8	33.0	33.2	59.8	34.0	33.4	61.1	33.8	32.4	62.1	26.0	26.0	61.7	26.0	25.8	59.8
89.2	36.0	36.4	36.4	37.4	36.8	67.2	37.0	35.0	67.6	28.7	29.6	68.2	28.9	28.9	66.7
85.5	38.8	38.8	70.0	39.6	39.2	71.5	39.4	37.2	72.0	30.8	31.4	72.7	30.9	30.7	71.1
81.9	41.0	41.0	74.0	42.0	41.8	75.9	41.5	39.2	75.9	32.3	33.2	76.4	32.6	32.6	75.2
74.6	44.0	44.6	80.1	34.9	48.6	81.2	44.2	42.0	80.9	34.9	35.1	81.9	35.2	35.3	81.3
63.8	47.6	48.0	86.4	48.5	48.3	87.8	47.5	45.2	87.1	37.3	38.1	88.0	37.3	38.0	36.9
53	50.0	50.6	90.4	51.0	50.4	92.9	49.8	48.4	92.1	39.0	40.0	92.2	39.8	40.0	92.1
42	51 8	52.0	93.7	52.7	52.1	94.9	51.2	49.9	94.8	40.8	41.1	95.6	41.2	41.2	95.0
27,5	54.0	53.8	97 3	53.9	53.7	97.6	52 4	51.8	97.9	42.0	42.0	98.1	42.2	42.2	97.5
13	54.8	53.7	98.9	54.4	54.6	99.0	53.0	52.2	99.0	42.4	42.4	99.1	43.1	42.6	98.9
0	55.4		100	55.0		100	53.2		100	(42.8		100	(43.3		100

Tabelle 3

100 r/R	Nr. 11: $21^d 12^h 23^m$ h = 59°0′			Nr. 12: $21^d 12^h 27^m$ h = 59°1′			Nr. 13: $22^d 13^h 40^m$ h = 55°28′			Nr. 14: $22^d 14^h 0^m$ h = 53°40′			Nr. 15: $22^d 14^h 40^m$ h = 50°50′		
	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M
98.9	8.0	9.0	19.6	9.0	9.0	21.2	12	14.0	25.6	12.0	12.8	27.2	9.0	—	21.0
97.8	14.6	17.6	37.1	17.4	16.6	39.9	18.5	21.4	39.4	19.0	19.2	41.8	18.0	—	42.0
96.4	20.4	21.1	47.9	21.0	20.8	49.1	24.0	24.6	48.0	22.0	22.4	48.6	20.8	—	48.5
94.6	23.6	24.2	55.1	23.7	23.7	55.7	26.8	27.4	53.4	25.0	25.0	54.8	23.0	—	53.6
92.8	25.5	26.3	59 7	25 4	25.7	60.1	29.4	29.2	57.8	27.2	26.6	58.8	25.4	—	59.2
89.2	28.4	29.0	66.2	28.0	28.2	66.1	32.2	32.4	63.8	30.4	29.6	65 8	27.8	—	64.6
85.5	30.8	31.2	71.5	30.0	30.1	70.7	34.6	34.6	68.2	32.8	31.8	71.0	30.0	—	69.8
81.9	32,4	32.6	75.0	32.0	32.2	75.5	37.0	36.0	72.0	34.2	33.6	74.2	32.0	—	74.7
74.6	35.0	35.3	81.1	34.2	34.8	81.1	40.0	40.2	79.0	36.6	36.2	79.8	34.2	—	79.7
63.8	37.7	38.0	87.3	36.9	37.2	87.1	43.6	43.6	86.0	39.2	38.4	85.0	37.0	-	86.0
53	39.8	40.0	92.1	39 3	39.3	92.4	46.2	46 0	91.0	42.0	41.0	91.0	39.0	—	90.9
42	41.0	41.3	95.0	40.8	40.4	95.5	48.0	48.0	94.8	43.2	42.8	94.2	40.2	—	93.8
27.5	42.0	42.3	97.2	41.6	41.6	97.8	49.4	49.4	97.2	44.6	44 2	97.0	42.0	—	97.8
13	42.9	43.1	99.2	42.6	42.0	99.4	50.4	50.4	99.1	45.2	45.4	99.2	42.6	—	99.0
0	(43.3)		100	42.8		100	50.8		100	45.7		100	43.0	—	100

100 r/R	Nr. 16: $22^d 15^h 20^m$ h = 48°0′			Nr. 17: $22^d 15^h 0^m$ h = 50°20′			Nr. 18: $27^d 13^h 10^m$ h = 55°55′			Nr. 19: $29^d 14^h 10^m$ h = 51°25′			Nr. 20: $29^d 14^h 15^m$ h = 51°20′		
	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M	L	R	M
98.9	11.0	12.0	33.6	8.0	14.0	28.8	12.0	12.0	24.0	16.0	12.0	25.8	14	14.0	26.4
97.8	14.6	14.8	43.0	15.0	17,0	41.8	19.0	19.4	38.4	22.4	22.4	41.4	22.0	21.2	39.0
96 4	17.0	16.8	49.6	17.8	19.2	48.4	22.5	23.4	46.0	26.0	26.0	48.0	25.4	24.4	47.2
94 6	19.2	18.8	55.4	20.4	21.2	54.8	26.0	26.0	52.0	28.8	29.2	53.6	28.8	27.2	53.0
92.8	20.4	20.4	59.8	22.2	22.6	58.8	28.0	28.0	56.0	30.8	31.2	57.2	30.6	30.0	57.4
89.2	22.4	22.6	65.8	24.8	24.6	65.0	31.5	30.8	63.4	34.2	34.8	63.8	34.0	33.2	63.6
85.5	24.4	23.8	70.6	27.0	26.8	70.2	33.4	33.2	66.6	37.6	37.8	68.8	36.6	35.8	68.4
81.9	25.8	25.2	74 8	28.6	28.2	74.2	35.6	35.6	71.2	40.4	40.0	74.2	39.0	38.0	72.8
74.6	27.8	27.6	81.0	30.8	30.2	80.0	39.0	38.8	77.8	43.3	43.3	80.0	42.0	41.2	78.8
63.8	30.0	28.0	85.0	31.6	32.0	84.6	42.7	42 3	83.0	46.6	46.2	85.6	45.2	44.2	84.4
53	32.0	30.2	91.1	33.2	34.8	89.0	45.6	45.0	90.6	48.8	48.8	90.2	47.6	47.0	80.6
42	33.2	31.6	94.8	34.8	36.0	92.6	47.5	47.0	94.6	50.4	50.6	93.4	49.5	48.7	93.0
27.5	33.8	33.0	97.8	36.2	37.2	96.2	48.4	48.4	96.8	51 6	52.0	95.6	51.2	50.4	96.0
13	34.2	33.4	99 0	37.6	38.2	99.0	50	49.6	99 6	53.4	54.0	99.2	52.2	51.4	98.0
0	34.2		100	38.2		100	50		100	54.2		100	53.0	52.6	100

Die Ergebnisse der 10- bezw. 5 mm-Sehnen-Registrierkurven sind nicht zur Mittelbildung verwendet worden und werden erst später angeführt. Zur Ableitung der Prozente ist dabei für die grösste Amplitude der mittlere Prozentsatz aus den 20 Durchmesserregistrierungen genommen. Diese zwei Kurven dienen zur Prüfung des Mittelwertes von 20 Durchmesserkurven. Da es ausserdem hier leichter war bis an die randnächsten Punkte heranzukommen, so wurde noch der Punkt in 0,2 mm Entfernung vom Rande hinzugefügt.

8. Die Fehlerquellen.

Da es sich nur um die Messung der relativen Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe handelte, fielen einige Fehlerquellen, die bei einer absoluten Messung der Intensitäten zu berücksichtigen gewesen wären, weg. Das gilt vor allem für die Einflüsse der Extinktion und des Reflektionsvermögens der Spiegel.

Der Intensitätsabfall nach dem Rande zu ist für die kürzeren Wellen stärker als für die längeren; die randnahen Teile der Sonnenscheibe sind röter als die zentralen Teile. Die Erdatmosphäre absorbiert und diffundiert ebenfalls die kürzeren Wellen stärker als die längeren. Bei einem tieferen Stand der Sonne ist daher zu erwarten, dass die Spannung zwischen der maximalen Wellenlänge am Rande und in der Mitte der Sonne kleiner gemessen wird, als sie wirklich ist.

Um diesem Einfluss zu begegnen, wurden die Registrierungen um die Mittagszeit angestellt. Die meisten Registrierungen beziehen sich daher auf die Sonnenhöhe von 55° bis 59°. Nur einzelne Kurven fallen aus diesem Bereich heraus und registrieren die Helligkeitsverteilung bei Sonnenhöhen von 48° bis 55°.

Wir wollen den Einfluss der Extinktion auf unsere Registrierungen abschätzen. ABBOT[1]) gibt für die Wellenlänge der maximalen Intensität der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit vom Abstand von der Sonnenmitte folgende

Tabelle 4

$100\,r/R$	0	20	40	60	75	85	95
λ max.	458	463	467	472	478	486	505

[1]) Op. c.

Für die Abschätzung wollen wir runde Zahlen nehmen: für die Sonnenmitte $\lambda_{max.}$ 460 und für den Sonnenrand $\lambda_{max.}$ 520. Die zugehörigen Transmissionskoeffizienten sind $p_{460} = 0.72$ und $p_{520} = 0.77$.

Bezeichnen wir nun mit $\varkappa$ das Verhältnis zwischen den Extinktionen für λ 460 und λ 520 für verschiedene Sonnenhöhen, so erhält man mit den angegebenen Werten von p für die Abhängigkeit von der Sonnenhöhe folgende Werte.

Tabelle 5

Höhe	90°	60	55	50
$\varkappa$	0.934	0.935	0.935	0.936

Der Einfluss der Extinktion ergibt sich somit für unsere Registrierkurven zu höchstens zwei Promille der Intensität, liegt also bei weitem innerhalb der Messgenauigkeit und braucht nicht eliminiert zu werden. In der Tat hat sich aus den Messungen auch kein Gang der Helligkeitsverteilung mit der abnehmenden Höhe des Sonnenmittelpunkts während der Registrierung ergeben. Man vergleiche z. B. die einzelnen Reihen vom 21. Juli, bei denen die Sonnenhöhe zwischen 56° und 59° variierte.

Ueber eine gleichmässige Absorption des Spiegelsystems wäre Aehnliches zu sagen, wie über die Extinktion der Erdatmosphäre. Von Wichtigkeit ist dabei eine etwaige selektive Absorption der Spiegel und eine Veränderung des Reflexionsvermögens im Laufe der Zeit. Leider ist es ziemlich schwierig, das konstante Reflexionsvermögen der Spiegel in der intensiven Sonnenstrahlung längere Zeit zu erhalten. Eine etwaige ungleichmässige Versilberung der Spiegel konnte bei unserer Anordnung keine Fehler verursachen: die zu messenden Strahlen passierten stets den gleichen Weg im Spiegelsystem. Eine nähere Diskussion der Ergebnisse an einzelnen Tagen und deren Vergleich an verschiedenen Tagen wird zeigen, ob die Spiegel systematische Fehler verursacht haben. Hierzu sei bemerkt, dass beide Planspiegel bis zum 23. Juli merklich bräunlich geworden waren und daher neu versilbert wurden, so dass die Messungen von 27. und 29. Juli bei etwas anderen Verhältnissen erfolgt sind.

Andere Fehlerquellen mehr zufälliger Natur sind, z. B.: kleine Veränderungen des Luftzustandes während der Registrierung, Ungenauigkeiten in der Einstellung des Sonnenbildes, nicht exakte Bestimmung der gewählten Punkte auf der Kurve, eine Veränderung des Widerstandes, eine Ungleichmässigkeit der Bewegung der Registriertrommel.

Tabelle 6

100 r/R	M_1	M.F.	M_2	M.F.	M_3	M.F.	M_4	M.F.	D.M.F.
98.9	24.2	±1.9	22.3	±8.2	25.4	±4.5	25 4	±1.0	2.6
97.8	44.7	2.5	39.8	2.7	41.6	1.2	39.6	1.3	1.9
96.4	50.7	1.6	49.6	1.4	48.6	0.5	47.1	0.8	1.1
94.6	55.2	1.6	55.8	1.1	54.4	0.8	52.9	6.7	1.1
92.8	59.9	1.4	60.3	1.2	58.9	0.7	56.9	0.6	1.0
89.2	66.3	1.2	66.5	0.9	65.0	0.8	63.6	0.2	0.8
85.5	71.0	1.4	71.1	1.0	70.0	1.0	67.9	0.9	1.1
81.9	74.8	1.4	75.2	0.8	73.9	1.0	72.7	1.2	1.1
74.6	80.5	1.0	81.0	0.5	76.9	0.6	78.9	0.9	0.7
63.8	86.6	0.2	87.2	0.5	85.3	0.6	84.3	1.1	0.6
53	91.1	0.2	91.8	0.6	90.6	0.8	90.1	0.4	0.5
42	94.9	0.3	95.0	0.5	94.0	0.8	63.7	0.7	0.6
27.5	97.2	0.3	97.7	0.3	97.2	0.6	96.1	0.5	0,4
13	99.0	0.2	99.1	0.2	99.1	0.1	98.9	0.6	0.3
0	100	0	100	0	100	0	100	0	0.0

In der Tabelle 6 hat die erste Spalte die bekannte Bedeutung, in der zweiten und dritten Spalte sind eingetragen der Mittelwert aus vier Registrierungen am 18. Juli und der mittlere Fehler. In den nächsten Spalten unter M_2, M_3 und M_4 stehen Mittelwerte aus 8 Registrierungen am 21. bezw. 5 Registrierungen am 22. und 2 + 1 Registrierungen am 27. und 29. Juli. Daneben sind die mittleren Fehler für die entsprechenden Tage. Endlich befindet sich in der letzten Spalte der durchschnittliche Wert der mittleren Fehler der Registrierungen an einzelnen Tagen.

Der Zustand der Spiegel scheint keinen Einfluss gehabt zu haben. Denn die Neuversilberung der Spiegel hat am 27. und 29. Juli keine Steigerung der Intensitäten der randnahen Stellen der Sonne ergeben, was unter der Annahme der selektiven Absorption der kurzwelligeren Strahlen bei der alten Versilberung zu erwarten wäre.

Um noch einen etwaigen systematischen Unterschied zwischen den auf die vorangehende und den auf die nachfolgende

Hälfte sich beziehenden Werten aufzudecken, geben wir in Tabelle 7 die Mittelwerte getrennt für beide Hälften.

Die unmittelbar am Rande vorhandene leichte Asymmetrie deutet auf einen kleinen Rest von Trägheit der Apparatur hin, dessen Einfluss aus dem Mittel sicher eliminiert ist.

Erwähnt sei schliesslich noch, dass die Intensität ausserhalb der Sonnenscheibe nicht sofort auf Null sinkt, dass vielmehr in der Entfernung bis 2′ die Intensität der Streustrahlung von Atmosphäre und Apparatur etwa 3 % der Intensität der Mitte der Sonnenscheibe betrug. Noch in der Entfernung bis 6′ vom Sonnenrande betrug die Intensität etwa 2 %. Weiter wurde der Abfall der Intensität nicht verfolgt.

Tabelle 7

100r/R	98.9	97.8	96.4	94.6	92.8	89.2	85.5	81.9	74.6	63.8	53	42	27.5	13	0
voran-gehend	23.7	40.2	49.3	55.1	59.4	65.6	70.5	74.6	80.3	86.4	91.2	94.6	97.3	99.2	100
nach-folgend	25.4	41.4	49.1	54.9	59.3	65.6	70.2	74.2	80.2	86.1	90.9	94.5	97.2	89.9	100
Δ	–1.7	–0.8	+0.2	+0.2	+0.1	0.0	+0.3	+0,4	+0.1	+0 3	+0.3	+0.1	+0.1	+0.3	0 0

9. Die Kurve der Helligkeitsverteilung.

Die Diskussion des vorigen Paragraphen hat ergeben, dass keine weiteren Reduktionen an die Zahlen der Tabelle 3 anzubringen sind. Daher haben wir diese Ergebnisse mit gleichem Gewicht arithmetisch gemittelt und den mittleren Fehler aus den Abweichungen der Einzelwerte vom Mittel berechnet.

Zur Prüfung des Mittelwertes benutzen wir jetzt noch die Ergebnisse der Registrierungen der randnahen Sehnen, die ausserdem noch Werte für 99,3 % des Sonnenradius liefern. Die Ergebnisse bestätigen im allgemeinen unsere Mittelwerte.

In der Tabelle 8 gibt die zweite Spalte die mittlere Intensität, die dritte den mittleren Fehler, die vierte und fünfte Ergebnisse der 10 mm bezw. 5 mm vom Sonnenrande abstehenden Sehnen. Es sei noch hinzugefügt, dass S_{10} am 21. Juli $11^h\ 25^m$, $h = 56^0 20'$, S_5 um $11^h\ 40^m$ $h = 57^0\ 0'$ registriert ist.

Tabelle 8

100 r/R	M. J.	M. F.	S_{10}	S_5
99.3	—	—	18.8	18.5
98.9	24.4	±3.6	25.6	25.6
97.8	40.8	2.4	40.4	41.4
96.4	49.2	1.7	48.6	50.0
94.6	54.9	1.5	54.4	54.8
92.8	59.4	1.6	59.0	59.0
89.2	65.7	1.4	65.2	64.8
85.5	70.3	1.2	70.0	69.8
81.9	74.5	1.4	74.0	74.5
74.6	80.4	0.9	81.8	—
63.8	86.2	1.3	86.2	—
53	91.1	0.9	—	—
42	94.5	0.9	—	—
27.5	97.3	0.8	—	—
13	99.1	0.3	—	—
0	100	—	—	—

Diese endgültige Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe ist ausserdem noch in der Abb. 4 graphisch dargestellt. Die randnahe Zone ist in vergrössertem Masstabe eingezeichnet.

10. Ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Beobachter.

Wie am Anfang schon gesagt wurde, ist die Helligkeitsverteilung auf der Sonne schon mehrfach gemessen worden. Einige dieser Ergebnisse mögen hier zum Vergleich angeführt werden.

In der Tabelle 9 sind zusammengestellt: Visuelle Messungen im unzerlegten Lichte von PICKERING und STRANGE aus dem Jahre 1874[1]); visuelle spektralphotometrische Messungen von VOGEL im Wellenbereich zwischen 510—515 $\mu\mu$[2]); ebensolche Messungen von VERY[3]) für die Wellen 468 und 550. Die folgenden drei Kolonnen sind den spektralbolometrischen Registrierungen von ABBOT, FOWLE und ALDRICH entnommen[4]), weitere drei den monochromatischen Messungen mit Thermosäule von MOLL, BURGER und van der BILT[5]). In der elften Spalte

[1]) Proc. of the Americ. Acad. of Arts and Sciences, New Series 2, 428.

[2]) Entn. dem Buche von E. Pringsheim: „Vorlesungen über die Physik der Sonne".

[3]) Fr. V. Very, Astrophys. Journ. 16. 1902.

[4]) O. c.

[5]) O. c.

stehen die von uns gefundenen Mittelwerte, die sich auf eine mittlere Wellenlänge von ca. 490 μμ beziehen. Daneben in den letzten zwei Spalten stehen Differenzen gegen die entsprechenden Werte von Abbot bzw. Moll.

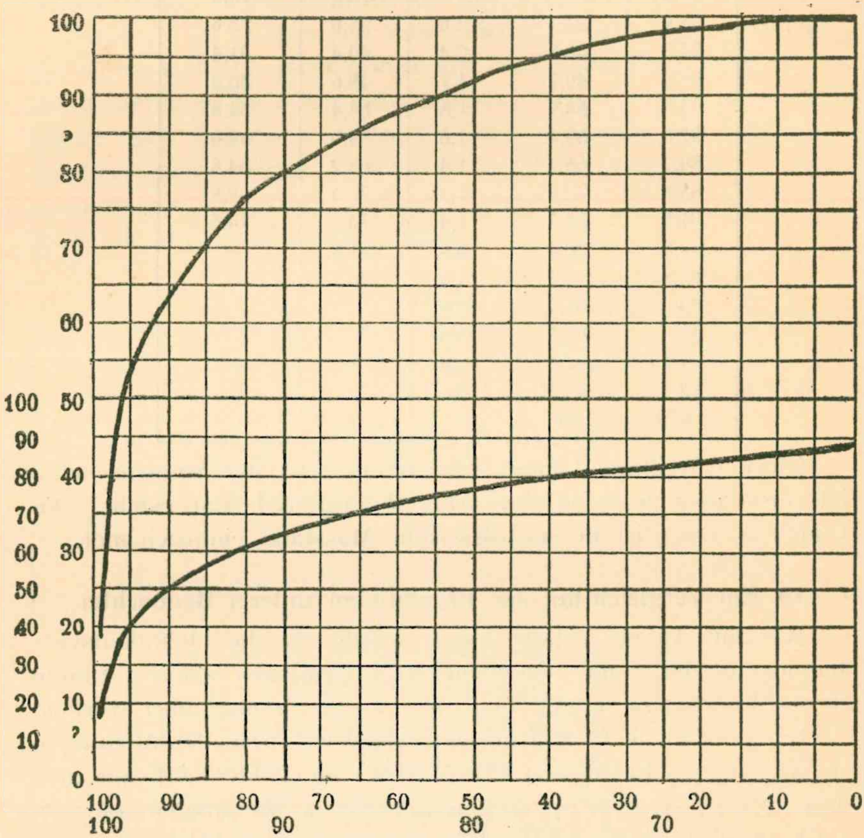


Abb. 4

ABBOT und seinen Mitarbeitern standen grosse Spiegel und Messinstrumente zur Verfügung. Das Sonnenbild hatte 40 cm Durchmesser; die Intensitäten wurden mit einem Spektralbolometer gemessen, die Ausschläge des Galvanometers photographisch registriert. Dabei wurden merkwürdigerweise die Registrierkurven in der Abszissenrichtung bis auf 9 cm zusammengezogen, so dass der durch das grosse Sonnenbild gewonnene Vorteil eines grossen Masstabes wieder verloren ging. Wie der Vergleich zeigt, sind unsere Messungen sicher nicht ungenauer als die mit den grossen instrumentellen Hilfsmitteln von ABBOT

u. a. gewonnenen und systematisch wohl einwandfreier. Eine Angabe der Intensitäten auf 0,01 % ist sicherlich illusorisch; wir haben daher Abbots Werte auf 0,1 % abgerundet.

Die Beobachtungen von MOLL, BURGER und van der BILT wurden auf dem Gornergrat (i. d. Schweiz) in der Höhe von 3100 m vorgenommen. Das Sonnenbild wurde erzeugt durch

Tabelle 9

Beob.	Pick. vis.	Vogel vis.	Very visuell		Abbot u. a. spektralbol.			Moll u. a. thermoelektr.			Juška K-Zelle	Differenzen	
λ	550	512	468	550	456	506	534	456	500	550	(490)	11—6	11—9
100 r/R	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
100	37.4	16	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—
99	—	—	—	—	—	—	—	—	27	—	24	—	-3
97,5	—	—	—	—	—	—	—	—	43.5	49.0	43.5	—	0.0
95	55.4	44	46.2	58.7	47.1	51.7	54.8	38.7	53.1	57.0	53.7	+2.0	+0.6
92	—	—	—	—	53.8	58.3	60 5	49.0	61.2	64.5	61.1	+2.8	—0.6
90	63.2	56.6	—	—	—	—	-	57.2	64.8	67.6	64.5	—	—0.1
87.5	—	--	—	—	61.6	65.0	67.2	60.8	68.5	71.0	67.3	+2.9	—0.3
85	69 2	64.7	—	—	—	—	—	64.6	71.5	74.0	71.0	—	—0.6
82.5	—	—	—	-	68,1	71,1	72.8	68.0	74.3	76.6	73.9	+2.8	—0.5
80	74.5	70.9	—	—	—	—	—	70.4	76.6	78.9	76.4	—	—0.4
75	78.8	75.9	76.4	83.1	75.6	77.7	79.2	73.4	80.4	82.3	80.2	+2.5	—0.4
70	82.3	80.0	—	—	—	-	—	78.0	84,0	85.4	83.2	—	-0.4
65	—	—	—	—	83.1	84.5	85.6	82.3	—	—	85.7	—	-0.8
60	87.4	86.2	—	—	—	—	—	—	-	-	88.1	—	—
55	—	—	—	—	88.5	89.4	90.2	—	—	—	90.3	—	—
50	91.3	90.7	90.2	90.3	—	—	—	—	—	—	92.3	—	—
40	93.8	94.3	—	—	94 2	94 5	95.0	—	—	—	95.1	—	-
30	95.7	96.9	—	-	—	—	—	—	—	—	97.0	—	—
20	97.9	98.7	—	—	98.6	98,7	98.7	—	-	—	98.4	—	-
10	99.2	99.4	—	—	—	—	—	-	—	—	99.4	—	—
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	—	100	—	—

zwei Planspiegel von je 30 cm und eine Linse von 15 cm Durchmesser und etwas über 3 m Brennweite. Es war 30 mm gross und fiel auf einen Spalt von 0,1 mm Breite und 0,2 mm Höhe, hinter dem eine Monochromatoranordnung mit einem linearen Vakuumthermoelement sich befand. Bei den ersten Messungen wurden die Spiegel gedreht, bei den späteren dagegen die Linse bewegt (feststehender Coelostat). Um die randnahen Partien gut zu messen, wurde das Sonnenbild mit einer gegen die täg-

liche Bewegung im Verhältnis 1:5 verlangsamten Geschwindigkeit vor dem Spalt vorbeigeführt. Da die Breite des Spaltes 0,1 mm = 0,007 R betrug, konnten die Genannten ebenso wie wir fast auf etwa 1 % an den Sonnenrand herankommen.

Es sei an dieser Stelle gestattet, darauf hinzuweisen, dass unsere Messungen bereits ein Jahr vor denen der Holländer angefangen wurden und die Uebereinstimmung unserer Resultate mit den ihrigen die Brauchbarkeit unserer wesentlich einfacheren Anordnung aufs schönste bestätigt.

Der Vergleich der einzelnen Spalten der Tabelle zeigt, dass nicht nur ältere, sondern auch neuere Messungen nicht unerheblich voneinander abweichen. Bemerkenswert sind die Unterschiede zwischen den amerikanischen und holländischen Ergebnissen, welche aufs deutlichste veranschaulichen, dass kaum das Zehntel verbürgt ist, geschweige denn das Hundertstel. Die Diskrepanz bei denselben Wellenlängen beträgt 2—4%.

Was unsere Messungen anlangt, so haben sie noch den einen Nachteil, dass sie sich nicht eindeutig auf eine bestimmte Wellenlänge beziehen. Die Intensitätsverteilung im kontinuierlichen Teil des Sonnenspektrums verschiebt sich bekanntlich von der Mitte nach dem Rande zu so, dass das Intensitätsmaximum nach längeren Wellen rückt. Im Mittel beziehen sich unsere Messungen etwa auf die Wellenlänge 490; nach der Sonnenmitte zu ist die effektive Wellenlänge etwas kürzer, nach dem Rande etwas länger. Da der Abfall der Intensität nach dem Rande hin mit abnehmender Wellenlänge stark wächst, so müssen unsere Werte nicht genau der Verteilung in der Wellenlänge 490 entsprechen, sondern in der Mitte der Sonne etwas kleiner und an deren Rande etwas grösser sein. In der Tat bestätigt dies der Vergleich unserer Werte mit denen von ABBOT und MOLL. Im allgemeinen ergibt dieser Vergleich:

1. Unsere Werte liegen erheblich über den von ABBOT für die entsprechenden Wellenlängen gefundenen und bestätigen damit die Schlussfolgerungen MOLLS.

2. Unsere Werte entsprechen fast genau den von MOLL für $\lambda = 500\ \mu\mu$ gefundenen. Die Abweichungen deuten im Hinblick aut die bei uns wirksamste Wellenlänge darauf hin, dass die wahren Werte eine weitere Vergrösserung in dem gleichen Sinne erstreben, wie sie schon von Moll für die ABBOT'schen Werte abgeleitet wurden.

Schliesslich sei noch der Vergleich mit den theoretischen Kurven von SCHWARZSCHILD und EMDEN durchgeführt[1]).

In der Tabelle 10 stehen in der zweiten Spalte unsere gemessenen Werte, in der dritten die für das Strahlungsgleichgewicht und in den zwei folgenden für die Polytropen $n = 3$ und $n = 5$. Aus der Tabelle sieht man eine sehr schöne Uebereinstimmung

Tabelle 10

100 r/R	Beob.	Str. Gl.	P_3	P_5
100	—	40	0	0
98	39.8	52	20	34
96	50.3	57	28	43
90	64.5	66	44	58
80	76.4	76	60	71
70	83.2	83	71	80
60	88.1	88	80	86
40	95.1	95	92	94
20	98.4	99	98	99
0	100	100	100	100

unserer Werte mit den theoretischen für Strahlungsgleichgewicht für $r = 0$ bis 80 % R, darüber hinaus wird aber der Abfall steiler.

Zusammenfassung.

Man darf wohl sagen, dass die Messmethode und Apparatur für die gestellte Aufgabe sich als recht brauchbar erwiesen hat. Ihr Vorteil besteht in der Einfachheit, die sich auch bei spektralen Zerlegung bewahren lässt. Bei entsprechender Verbesserung auf Grund der gemachten Erfahrung dürfte es leicht sein, die Sonne ständig zu überwachen, und hinreichendes Material zu gewinnen für das Studium der zeitlichen Veränderungen der Sonnenhelligkeit.

Die auf eine mittlere Wellenlänge von 490 $\mu\mu$ reduzierten Werte der Helligkeitsverteilung sind:

---

[1]) Emden: Seeliger — Festschrift. Berlin 1924.

Tabelle 11

100 r/R	100 J/J_0	100 r/R	100 J/J_0
99	24	65	85.7
97.5	43.5	60	88.1
95	53.7	55	90.3
90	64.5	50	92.3
85	71.0	40	95.1
80	76.4	30	97.0
75	80.2	20	98.4
70	83.2	0	100

Hinsichtlich der wünschenswerten Verbesserungen sind folgende Bemerkungen zu machen:

1. Der flüssige Widerstand muss durch einen festen konstanten und kleineren Widerstand ersetzt werden.

2. An Stelle des Loches ist zweckmässiger ein Spalt zu verwenden, der bei 0,05 mm Weite und 0,6 mm Höhe die gleiche Intensität durchlässt wie ein Loch von 0,2 mm Durchmesser. Man kann dann noch etwas näher an den Rand herankommen.

3. Es ist unbedingt notwendig, die Orientierung auf der Registrierkurve unabhängig vom Beobachter zu gestalten. Dazu müsste man die Filmtrommel gleichmässig mit einer bekannten und konstanten Geschwindigkeit bewegen, vielleicht mittels eines kleinen Elektromotors, und die Erdungsmarken durch irgend eine mechanische Vorrichtung in gleichen Zeitabschnitten erzeugen. Hier könnte man an ein langsam schwingendes Pendel, einen rotierenden Sektor oder irgend eine andere entsprechende Einrichtung denken.

Anmerkung: Inzwischen haben HECKMANN und SIEDENTOPF eine Methode angegeben zur Verbesserung unserer Messungen wegen Szintillation, auf die hier hingewiesen sei. Siehe Heft 8 dieser Veröffentlichungen.

Lebenslauf.

Geboren bin ich in Gelažiai, Kreis Panevėžys in Litauen am 14./27. Januar 1902. Eine Wintervolksschule zu Ramygala besuchte ich von 1908—1911 und ging dann in die Oberrealschule nach Panevėžys. Während des Weltkrieges besuchte ich das neugegründete litauische Gymnasium in Panevėžys und zuletzt in Wilna, wo ich mein Reifezeugnis am 4. März 1919 erhielt.

Im Dezember des Jahres 1920 konnte ich das Studium auf der Berliner Universität beginnen. Hier habe ich mathematische, physikalische und philosophische Vorlesungen von den Herren Professoren BIEBERBACH, DESSOIR, FOCK, HAMBURGER KOEHLER, MARCUSE, RADEMACHER, RIEFFERT, RIEHL, RUBENS, SCHMIDT, SCHLENK, SCHUR, SZEGOE gehört. Im Sommer 1923 kam ich nach Göttingen, wo ich mich ganz der Astronomie zuwandte. Ich hörte Vorlesungen bei den Herren Professoren AMBRONN, ANGENHEISTER, BERNAYS, BORN, COURANT, FRANCK, HILBERT, KIENLE, MEYERMANN, POHL, RUNGE, WIECHERT.

Allen meinen Lehrern, insbesondere aber den Herren Prof. KIENLE und Geheimrat MEYERMANN bin ich auf das herzlichste dankbar.

Ende Juli 1925 musste ich leider mein Studium unterbrechen. Nach Litauen zurückgekehrt wurde ich als Leiter einer Mittelschule in Pasvalys angestellt. Am 1. Mai 1927 kam ich nach Vilkaviškis als Direktor einer privaten Oberrealschule und bin daselbst auch jetzt tätig. Zum Abschluss der vorliegenden Arbeit weilte ich während der Schulferien im Sommer 1927 einige Wochen in Göttingen.

Vilkaviškis, Ende 1927.

Antanas Juška.

Inhaltsverzeichnis.